



TITLE:

大学連合による次世代型軽水炉の  
炉物理に関する研究-フランス原子  
力庁との共同研究-

AUTHOR(S):

代谷, 誠治

---

CITATION:

代谷, 誠治. 大学連合による次世代型軽水炉の炉物理に関する研究-フ  
ランス原子力庁との共同研究-. 2004

ISSUE DATE:

2004-03

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/80166>

RIGHT:

学術雑誌掲載論文の抜き刷り、出版社に著作権許諾が得られていない  
ため未掲載。

---

大学連合による次世代型軽水炉の炉物理に関する研究  
フランス原子力庁との共同研究

---

(課題番号：12308025)

平成 12 年度～平成 15 年度科学研究費補助金（基盤研究(A)(1)）  
**研究成果報告書**

平成 16 年 3 月

研究代表者 代 谷 誠 治  
(京都大学原子炉実験所教授)

## 大学連合による次世代型軽水炉の炉物理に関する研究 フランス原子力庁との共同研究

(課題番号：12308025)

### 研究組織

研究代表者	：	代 谷 誠 治	(京都大学原子炉実験所教授)
研究分担者	：	三 澤 毅	(京都大学原子炉実験所助教授)
研究分担者	：	宇根崎 博 信	(京都大学原子炉実験所助教授)
研究分担者	：	竹 田 敏 一	(大阪大学大学院工学研究科教授)
研究分担者	：	山 本 敏 久	(大阪大学大学院工学研究科助教授)
研究分担者	：	北 田 孝 典	(大阪大学大学院工学研究科助手)
研究分担者	：	山 根 義 宏	(名古屋大学大学院工学研究科教授)
研究分担者	：	北 村 康 則	(名古屋大学大学院工学研究科教授)
研究分担者	：	橋 本 憲 吾	(近畿大学原子力研究所教授)
研究分担者	：	岩 崎 智 彦	(東北大学大学院工学研究科教授)
研究分担者	：	相 沢 乙 彦	(武蔵工業大学工学部教授)

### 海外共同研究者

研究分担者	：	Alain Zaetta (フランス原子力庁原子炉サイクル物理研究部部長)
研究分担者	：	Alain Santamarina (フランス原子力庁原子炉サイクル物理研究部室長)
研究分担者	：	Stéphane Cathalau (フランス原子力庁原子炉サイクル物理研究部室長)

### 交付決定額（配分額）

（金額単位：千円）

	直接経費	間接経費	合 計
平成 12 年度	12,900	0	12,900
平成 13 年度	6,700	2,010	8,710
平成 14 年度	6,000	1,800	7,800
平成 15 年度	6,800	2,040	8,840
総 計	32,400	5,850	38,250

## 研究発表

1. H. Unesaki, S. Shiroya, K. Kanda, S. Cathalau, O. Aizawa *et al.*, “Analysis of Differences in Void Coefficient Predictions for Mixed-Oxide-Fueled Tight-Pitch Light Water Reactor Cells”, Nuclear Science and Engineering, Vol.1.135.1, pp.1-22, 2000
2. H. Unesaki, T. Iwasaki, T. Kitada, A. Kohashi, S. Shiroya *et al.*, “Measurement of  $^{237}\text{Np}$  Fission Rate Ratio Relative to  $^{235}\text{U}$  Fission Rate in Cores with Various Thermal Neutron Spectrum at the Kyoto University Critical Assembly”, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.37.8, pp.627-635, 2000
3. T. Iwasaki, T. Horiuchi, D. Fujiwara, H. Unesaki, S. Shiroya *et al.*, “Measurement and Analysis Capture Reaction Rate of  $^{237}\text{Np}$  in Various Thermal Neutron Fields by Critical Assembly and Heavy Water Thermal Neutron Facility of Kyoto Univ.”, Nuclear Science and Engineering, Vol.136.3, pp.321-339, 2000
4. H. Unesaki, T. Iwasaki, T. Kitada, Y. Ikeuchi and S. Shiroya, “Measurement and Analysis of  $^{241}\text{Am}$  Fission Rate Ratio Relative to  $^{235}\text{U}$  Fission Rate in Thermal Neutron Systems Using Kyoto University Critical Assembly”, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.38.8, pp. 600-606, 2001
5. S. Shiroya, H. Unesaki and T. Misawa, “Accelerator-Driven Subcritical Reactors in Japanese Universities: Experimental Study Using the Kyoto University Critical Assembly”, Transactions of the American Nuclear Society, Vol.84, pp.78-79, 2001
6. S. Shiroya, A. Yamamoto, H. Moriyama, H. Unesaki, *et al.*, “Present Status of Next Term Project in KURRI”, Proc. 13th Symp. on Accelerator Sci. Technol., pp.470-472
7. S. Shiroya, A. Yamamoto, K. Shin, T. Ikeda, S. Nakano and H. Unesaki, “Basic Study on Neutronics of Future Neutron Source Based on Accelerator Driven Subcritical Reactor Concept in Kyoto University Research Reactor Institute (KURRI)”, Progress of Nuclear Energy, Vol. 40.3-4, pp.489-496, 2002
8. S. Shiroya, H. Unesaki, C. Ichihara, H. Nakamura, K. Kobayashi and T. Misawa, “Experimental Study on Accelerator Driven Subcritical Reactor Using the Kyoto University Critical Assembly (KUCA)”, Proc. Int. Conf. on the New Frontiers of Nucl. Technol.: Reactor Phys., Safety and High-Performance Computing PHYSOR 2002, pp. 7C-01 1 - 6, 2002
9. Y. Yamane, Y. Kitamura, H. Kataoka, K. Ishitani and S. Shiroya, “Application of Variance-to-Mean Method to Accelerator Driven Subcritical System”, Proc. Int. Conf. on the New Frontiers of Nucl. Technol.: Reactor Phys., Safety and High-Performance Computing PHYSOR 2002, pp. 7E-02 1 - 8, 2002
10. T. Takeda, M. Hattori, A. Santamarina, and C. Chabert, “Inter-Comparison of Doppler Reactivity Coefficients for LWR  $\text{UO}_2$  and MOX Cells”, Proc. Int. Conf. on the New Frontiers of Nucl. Technol.: Reactor Phys., Safety and High-Performance Computing PHYSOR 2002, pp. 11A-04 1 - 10, 2002
11. Hironobu Unesaki, Keisuke Okumura, Takanori Kitada and Etsuro Saji, “Update Status of Benchmark Activity for Reactor Physics Study of LWR Next Generation Fuels”, Trans. Am. Nucl. Soc. Vol.88, pp.436-438
12. Akio Yamamoto, Seiji Shiroya, “Study on neutronics design of accelerator driven subcritical reactor as future neutron source, Part1: static characteristics”, Annals of Nuclear Energy, Vol.30, pp.1409-1424, 2003
13. Akio Yamamoto, Seiji Shiroya, “Study on neutronics design of accelerator driven subcritical reactor as future neutron source, part2: kinetic characteristics”, Annals of Nuclear Energy, Vol. 30, pp. 1425-1435, 2003
14. 代谷 誠治, “エネルギー増幅研究 - 京大炉における研究”, 原子核研究, Vol. 47, pp67-77, 2003

## 出版物

なし

平成 15 年度 科学研究費補助金研究成果報告書概要

1. 機関番号 

1	4	3	0	1
---	---	---	---	---

 2. 研究機関名 京都大学
3. 研究種目名 基盤研究(A)(1) 4. 研究期間 平成 12 年度 ~ 平成 15 年度
5. 課題番号 

1	2	3	0	8	0	2	5
---	---	---	---	---	---	---	---
6. 研究課題名 大学連合による次世代型軽水炉の炉物理に関する研究  
フランス原子力庁との共同研究

7. 研究代表者

研究者番号	研究代表者名	所属部局名	職名
8 0 0 2 7 4 7 4	リガナ シロヤ セイジ 代谷 誠治	原子炉実験所	教授

8. 研究分担者(主な者を5名以内。所属機関名については、研究代表者の所属機関と異なる場合のみ記入すると。)

研究者番号	研究分担者名	所属機関名・所属部局名	職名
7 0 2 1 9 6 1 6	リガナ ミサワ ツヨシ 三澤 毅	原子炉実験所	助教授
4 0 2 1 3 4 6 7	リガナ ウネサキ ヒロノブ 宇根崎 博信	原子炉実験所	助教授
3 0 1 1 6 0 5 8	リガナ タケダ トシカズ 竹田 敏一	大阪大学・大学院工学研究科	教授
6 0 1 1 5 6 4 9	リガナ ヤマネ ヨシヒロ 山根 義宏	名古屋大学・大学院工学研究科	教授
7 0 1 8 4 8 6 9	リガナ イワサキ トモヒコ 岩崎 智彦	東北大学・大学院工学研究科	教授

9. 研究実績の概要(国立情報学研究所でデータベース化するため、600字~800字で記入。図、グラフ等は記載しないと。)

次世代型軽水炉の炉物理に関する共同研究課題として、 干渉効果を考慮した共鳴自己遮蔽計算法の開発に関する検討、 トップラー反応度効果計算時における径方向の反応率分布と温度分布の影響に関する検討、 感度解析における誤差伝搬、 核燃料の照射後試験データを利用したマイナーアクチニドリサイクルと超ウラン元素の燃焼計算の妥当性評価、 加速器駆動未臨界炉等の次世代炉開発に関連した炉物理実験手法の高度化等を共同研究テーマの中心として研究を行った。日本側としては、 、 については大阪大学のグループ、 については東北大学のグループ、 については京都大学及び名古屋大学のグループが中心となり、適宜、フランス側と電子メールなどで連絡を取り合いながら研究を進めた。なお、平成14年度から文部科学省の革新的原子力システム技術開発公募事業の枠組みの下、京都大学で5ヶ年計画の加速器駆動未臨界炉の技術開発に関するプロジェクトが開始されたため、これに関連する研究の比重が高まることになった。また、KUCAにおいて蓄積された炉物理実験データの解析・評価を進め、次世代型軽水炉開発のベースとなる核データ評価に役立てるためのベンチマークデータとして活用することを目指して研究を進めた。さらに、本研究については、年度の途中で「大学連合とフランス原子力庁による次世代型軽水炉の物理に関する共同研究」に引き継がれることとなり、双方の研究成果を持ち寄って発表・討議を行う日仏セミナーも新たな課題の下で開催することとなった。

成果の公表を見合わせる必要がある場合は、その理由及び差し控え期間等を記入した調書(A4判縦長横書き1枚)を 添付すること。

10. キーワード

- |               |           |              |
|---------------|-----------|--------------|
| (1) 次世代型軽水炉   | (2) 原子炉物理 | (3) トップラー反応度 |
| (4) 超ウラン元素    | (5) 燃焼計算  | (6) 計算手法     |
| (7) 加速器駆動未臨界炉 | (8) 実験手法  |              |

## 10. 研究発表

著者名		論文標題						
H. Unesaki, S. Shiroya, K. Kanda, S. Cathalau, O. Aizawa <i>et al.</i>		Analysis of Differences in Void Coefficient Predictions for Mixed-Oxide-Fueled Tight-Pitch Light Water Reactor Cells						
雑誌名		巻・号		発行年				ページ
Nuclear Science and Engineering		135・1		2	0	0	0	1 - 22

著者名		論文標題						
H. Unesaki, T. Iwasaki, T. Kitada, A. Kohashi, S. Shiroya <i>et al.</i>		Measurement of <sup>237</sup> Np Fission Rate Ratio Relative to <sup>235</sup> U Fission Rate in Cores with Various Thermal Neutron Spectrum at the Kyoto University Critical Assembly						
雑誌名		巻・号		発行年			ページ	
Journal of Nuclear Science and Technology		37・8		2	0	0	0	627 - 635

著者名		論文標題						
T. Iwasaki, T. Horiuchi, D. Fujiwara, H.Unesaki, S. Shiroya <i>et al.</i>		Measurement and Analysis Capture Reaction Rate of <sup>237</sup> Np in Various Thermal Neutron Fields by Critical Assembly and Heavy Water Thermal Neutron Facility of Kyoto Univ.						
雑誌名		巻・号		発行年			ページ	
Nuclear Science and Engineering		136・3		2	0	0	0	321 - 339

著者名	論文標題						
H. Unesaki, T. Iwasaki, T. Kitada, Y. Ikeuchi and S. Shiroya	Measurement and Analysis of <sup>241</sup> Am Fission Rate Ratio Relative to <sup>235</sup> U Fission Rate in Thermal Neutron Systems Using Kyoto University Critical Assembly						
雑誌名	巻・号		発行年				ページ
Journal of Nuclear Science and Technology	38・8		2	0	0	1	600 - 606

著者名	論文標題							
S. Shiroya, H. Unesaki and T. Misawa	Accelerator-Driven Subcritical Reactors in Japanese Universities: Experimental Study Using the Kyoto University Critical Assembly							
雑誌名		巻・号		発行年			ページ	
Transactions of the American Nuclear Society		84		2	0	0	1	78 - 79

著者名	論文標題						
S. Shiroya, A. Yamamoto, H. Moriyama, H. Unesaki, <i>et al.</i>	Present Status of Next Term Project in KURRI						
雑誌名	巻・号		発行年				ページ
Proc. 13th Symp. on Accelerator Sci. Technol.			2	0	0	1	470 - 472

著者名	論文標題						
S. Shiroya, A. Yamamoto, K. Shin, T. Ikeda, S. Nakano and H. Unesaki	Basic Study on Neutronics of Future Neutron Source Based on Accelerator Driven Subcritical Reactor Concept in Kyoto University Research Reactor Institute (KURRI)						
雑誌名	巻・号		発行年				ページ
Progress of Nuclear Energy	40・3 - 4		2	0	0	2	489 - 496

著者名	論文標題							
S. Shiroya, H. Unesaki, C. Ichihara, H. Nakamura, K. Kobayashi and T. Misawa	Experimental Study on Accelerator Driven Subcritical Reactor Using the Kyoto University Critical Assembly (KUCA)							
雑誌名	巻・号		発行年				ページ	
Proc. Int. Conf. on the New Frontiers of Nucl. Technol.: Reactor Physics, Safety and High-Performance Computing PHYSOR 2002			2	0	0	2	7C-01 1 - 6	

著者名	論文標題	巻・号	発行年	ページ
Y. Yamane, Y. Kitamura, H. Kataoka, K. Ishitani and S. Shiroya	Application of Variance-to-Mean Method to Accelerator Driven Subcritical System		2002	7E-02 1 - 8
Proc. Int. Conf. on the New Frontiers of Nucl. Technol.: Reactor Physics, Safety and High-Performance Computing PHYSOR 2002				

著者名	論文標題	巻・号	発行年	ページ
T. Takeda, M. Hattori, A. Santamarina, and C. Chabert	Inter-Comparison of Doppler Reactivity Coefficients for LWR UO <sub>2</sub> and MOX Cells		2002	11A-04 1 - 10
Proc. Int. Conf. on the New Frontiers of Nucl. Technol.: Reactor Physics, Safety and High-Performance Computing PHYSOR 2002				

著者名	論文標題	巻・号	発行年	ページ
Hironobu Unesaki, Keisuke Okumura, Takanori Kitada and Etsuro Saji	Update Status of Benchmark Activity for Reactor Physics Study of LWR Next Generation Fuels		2003	436 - 438
Trans. Am. Nucl. Soc. Vol.88, (2003)		88		

著者名	論文標題	巻・号	発行年	ページ
Akio Yamamoto, Seiji Shiroya	Study on neutronics design of accelerator driven subcritical reactor as future neutron source, Part1: static characteristics		2003	1409 - 1424
Annals of Nuclear Energy		30		

著者名	論文標題	巻・号	発行年	ページ
Akio Yamamoto, Seiji Shiroya	Study on neutronics design of accelerator driven subcritical reactor as future neutron source, part2: kinetic characteristics		2003	1425 - 1435
Annals of Nuclear Energy		30		

著者名	論文標題	巻・号	発行年	ページ
代谷 誠治	エネルギー増幅研究 - 京大炉における研究		2003	67 - 77
原子核研究		47		

ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECT  
GRANT-IN-AID FOR SCIENTIFIC RESEARCH

1. RESEARCH INSTITUTION NUMBER : 14301
2. RESEARCH INSTITUTION : KYOTO UNIVERSITY
3. CATEGORY : Grant-in-Aid for Scientific Research (A)(1)
4. TERM OF PROJECT ( 2000 ~ 2003 )
5. PROJECT NUMBER : 12308025
6. TITLE OF PROJECT : Study on Reactor Physics of Next Generation Reactor by Japanese University Association – Joint Study with Commissariat à l’Energie Atomique of France -
7. HEAD INVESTIGATOR :

REGISTERD NUMBER	NAME	INSTITUTION, DEPARTMENT, TITLE OF POSITION
80027474	SHIROYA, Seiji	Kyoto University, Research Reactor Institute, Professor

8. INVESTIGATORS :

	REGISTERD NUMBER	NAME	INSTITUTION, DEPARTMENT, TITLE OF POSITION
(1)	70219616	MISAWA, Tuyoshi	Kyoto University, Research Reactor Institute, Associate Professor
(2)	40213467	UNESAKI, Hironobu	Kyoto University, Research Reactor Institute, Associate Professor
(3)	30116058	TAKEDA, Toshikazu	Osaka University, Graduate School of Engineering, Professor
(4)	50273602	YAMAMOTO, Toshihisa	Osaka University, Graduate School of Engineering, Associate Professor
(5)	60263208	KITADA, Takanorhi	Osaka University, Graduate School of Engineering, Research Associate
(6)	60115649	YAMANE, Yoshihiro	Nagoya University, Graduate School of Engineering, Professor
(7)	52053009	KITAMURA, Yasunori	Nagoya University, Graduate School of Engineering, Research Associate
(8)	70218410	HASHIMOTO, Kengo	Kinki University Atomic Energy Research Institute, Associate Professor
(9)	70184869	IWASAKI, Tomohiko	Tohoku University, Graduate School of Engineering, Professor
(10)	70016848	OTOHIKO, Aizawa	Musashi Institute of Technology, Faculty of Engineering, Professor

9. SUMMARY OF RESEARCH RESULTS :

A cooperative research between Japan and France was initiated to promote the study on the reactor physics of next generation in April 1993. The cooperation agreement was concluded between the Commissariat à l’Energie Atomique (CEA) and the Japanese University Association (JUA) joined to the joint use program of the Kyoto University Critical Assembly (KUCA). At present, the research and development on the method of calculation for the resonance



self-shielding, the experimental technique and the computational method for the nuclear characteristics of the transuranic elements, the method for the calculation of sensitivity coefficients and that for the sensitivity analysis, the method of calculation for the Doppler effect, and the experimental techniques for the reactor physics study are mainly performing within the framework of the cooperation between JUA and CEA through discussion in the Japan-France joint seminar or technical meeting held every year at Kyoto University or CEA. The second revision of the agreement was concluded in 1999 to extend the cooperation till 2004.

For the theme , the development of a computational method for the resonance self-shielding effect based on the subgroup method, a computational method considering the interference effect among resonance absorption cross sections of resonant nuclides, and an assessment of the spatial dependence of resonance self-shielding are performing mainly through the benchmark calculations. For the theme , experiments and analyses of such as the fission or capture reaction rate measurement in Japan and France are performing as well as the burnup benchmark calculation of the transuranic elements on the basis of the information exchange. For the theme , in order to assess the effect of difference in the nuclear data library between Japan and France which was found through the benchmark calculations on the void reactivity coefficient and the moderator temperature coefficient, a study is performing to develop a computational method to obtain the adequate sensitivity coefficient and the methodology of the sensitivity analysis. For the theme , the methodology to calculate accurately the Doppler effect of nuclear fuel was investigating through the benchmark calculation, since this effect is especially important in the transient phenomena of nuclear reactors. For the theme , the information exchange on the various experimental techniques including the reactor noise experiment, the neutron flux and power distribution measurement is performing in order to upgrade the technique for the development of reactor physics in the next generation. Therefore, the information exchange is not restricted only in the area of R&D for next generation light-water reactors, but it also includes such as the accelerator driven subcritical reactors. It should be noted here that the joint paper between JUA and CEA on the void coefficient will be published in Nucl. Sci. Eng. Vol. 136, as a fruit of the present cooperative study.

#### 10. KEY WORDS :

(1) Next Generation Light-Water Reactor	(2) Reactor Physics
(3) トッブラー反応度	(4) Trans-Uranium Element
(5) 燃焼計算	(6) Neutronics Calculation Method
(7) Accelerator Driven Subcritical Reactor	(8) Experimental Technique

#### 11. REFERENCES :

AUTHORS, TITLE OF ARTICLE	JOURNAL, VOLUME-NUMBER, PAGES CONCERNED, YEAR
H. Unesaki, S. Shiroya, K. Kanda, S. Cathalau, O. Aizawa <i>et al.</i> , "Analysis of Differences in Void Coefficient Predictions for Mixed-Oxide-Fueled Tight-Pitch Light Water Reactor Cells"	Nuclear Science and Engineering, Vol.1.135.1, pp.1-22, 2000
H. Unesaki, T. Iwasaki, T. Kitada, A. Kohashi, S. Shiroya <i>et al.</i> , "Measurement of $^{237}\text{Np}$ Fission Rate Ratio Relative to $^{235}\text{U}$ Fission Rate in Cores with Various Thermal Neutron Spectrum at the Kyoto University Critical Assembly"	Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.37.8, pp.627-635, 2000
T. Iwasaki, T. Horiuchi, D. Fujiwara, H. Unesaki, S. Shiroya <i>et al.</i> , "Measurement and Analysis Capture Reaction Rate of $^{237}\text{Np}$ in Various Thermal Neutron Fields by Critical Assembly and Heavy Water Thermal Neutron Facility of Kyoto Univ."	Nuclear Science and Engineering, Vol.136.3, pp321-339, 2000

H. Unesaki, T. Iwasaki, T. Kitada, Y. Ikeuchi and S. Shiroya, "Measurement and Analysis of $^{241}\text{Am}$ Fission Rate Ratio Relative to $^{235}\text{U}$ Fission Rate in Thermal Neutron Systems Using Kyoto University Critical Assembly"	Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.38.8, pp. 600-606, 2001
S. Shiroya, H. Unesaki and T. Misawa, "Accelerator-Driven Subcritical Reactors in Japanese Universities :Experimental Study Using the Kyoto University Critical Assembly"	Transactions of the American Nuclear Society, Vol.84, pp.78-79, 2001
S. Shiroya, A. Yamamoto, H. Moriyama, H.Unesaki, <i>et al.</i> , "Present Status of Next Term Project in KURRI"	Proc. 13th Symp. on Accelerator Sci. Technol., pp.470-472
S. Shiroya, A. Yamamoto, K. Shin, T. Ikeda, S. Nakano and H. Unesaki, "Basic Study on Neutronics of Future Neutron Source Based on Accelerator Driven Subcritical Reactor Concept in Kyoto University Research Reactor Institute (KURRI)"	Progress of Nuclear Energy, Vol. 40.3-4, pp.489-496, 2002
S. Shiroya, H. Unesaki, C. Ichihara, H. Nakamura, K. Kobayashi and T. Misawa, "Experimental Study on Accelerator Driven Subcritical Reactor Using the Kyoto University Critical Assembly (KUCA)"	Proc. Int. Conf. on the New Frontiers of Nucl. Technol.: Reactor Phys., Safety and High-Performance Computing PHYSOR 2002, pp. 7C-01 1 - 6, 2002
Y. Yamane, Y. Kitamura, H. Kataoka, K. Ishitani and S. Shiroya, "Application of Variance-to-Mean Method to Accelerator Driven Subcritical System"	Proc. Int. Conf. on the New Frontiers of Nucl. Technol.: Reactor Phys., Safety and High-Performance Computing PHYSOR 2002, pp. 7E-02 1 - 8, 2002
T. Takeda, M. Hattori A. Santamarina, and C. Chabert, "Inter-Comparison of Doppler Reactivity Coefficients for LWR $\text{UO}_2$ and MOX Cells"	Proc. Int. Conf. on the New Frontiers of Nucl. Technol.: Reactor Phys., Safety and High-Performance Computing PHYSOR 2002, pp. 11A-04 1 - 10, 2002
Hironobu Unesaki, Keisuke Okumura, Takanori Kitada and Etsuro Saji, "Update Status of Benchmark Activity for Reactor Physics Study of LWR Next Generation Fuels"	Trans. Am. Nucl. Soc. Vol.88, pp.436-438
Akio Yamamoto, Seiji Shiroya, "Study on neutronics design of accelerator driven subcritical reactor as future neutron source, Part1: static characteristics"	Annals of Nuclear Energy, Vol.30, pp.1409-1424, 2003
Akio Yamamoto, Seiji Shiroya, "Study on neutronics design of accelerator driven subcritical reactor as future neutron source, part2: kinetic characteristics"	Annals of Nuclear Energy, Vol. 30, pp. 1425-1435, 2003
代谷 誠治, "エネルギー増幅研究 - 京大炉における研究"	原子核研究, Vol. 47, pp67-77, 2003

## 1. 緒 言

現在、我が国において、原子力発電が総発電電力量の 3 割以上を担う時代となっているが、現行の軽水炉(LWR)を利用した発電以外の方式が実用化されないとすれば、ウラン(U)資源の可採年数は 70 年程度しかないと言われている。このことに関連して、U 燃料を原子炉中で燃焼させることにより、U の中性子捕獲反応で生じるプルトニウム(Pu)を利用すれば、U 資源を 100 倍以上も有効に利用することが可能となるので、我が国では原子力委員会が策定した原子力長期計画に基づいて、以前から高速増殖炉(FBR)の開発が進められてきた。しかし、現在、諸外国で FBR の開発を断念あるいは先送りする状況が生まれており、かつ、我が国でも FBR の開発が大幅に遅れていることから、LWR 時代がかなり長期化するものと予想されている。このような中で、核兵器への転用が懸念される Pu のストックが世界的にも増加しているため、LWR 用の核燃料として Pu を利用し、これを原子炉内で燃焼させることによって、Pu を消費し、そのストックを減らそうという動きが国際的に見ても主流となっている。ところが、Pu を燃料として利用し、現行の LWR 中に装荷して燃焼させると、その使用済燃料中には、U 燃料を装荷して燃焼させたときよりも遙かに多く、超長寿命で放射能毒性の高いマイナーアクチニド(MA)が蓄積することになり、将来に負の遺産を引き継ぐことになることが懸念される。また、現行 LWR の燃料増殖特性はFBRと比べものにならないほど悪いので、U 資源の有効利用に若干は寄与するものの、資源の枯渇が憂慮される。

そこで、上記のような問題を少しでも緩和しようという意識の下に、フランス原子力庁(CEA)と京都大学臨界集合体実験装置(KUCA)における共同利用研究に参加する日本の大学連合(JUA)との間で 1993 年 4 月に「次世代型原子炉の物理」に関する研究協力協定が締結され、以来、主に LWR で Pu の有効利用を図ることを目的として、次世代型 LWR の炉物理を中心とした共同研究が行われてきた。本研究では、エネルギー資源問題や原子力開発政策において多くの共通点を持つフランスと日本が、Pu 燃料の利用に関連した炉物理上の諸課題を中心にして基礎的な分野で共同研究を行い、主として次世代型 LWR の設計及び運転の基盤となる炉物理計算手法及び実験手法の高度化を図ることを目指している。具体的には、(1) Pu 燃料利用炉心の反応度係数計算法、(2) Pu 燃料利用に伴って重要性が増す共鳴吸収効果計算法、(3) Pu 燃料燃焼に伴う MA 蓄積量評価法、(4) 炉物理実験による核データ、核計算評価法等の飛躍的な精度向上、などを目標として国際共同研究を行い、炉物理計算手法の高度化を CEA の実験施設及び KUCA を用いた実験により検証しながら達成し、次世代型 LWR 設計の精度向上に資することを目指すものである。

## 2. 研究 の 概 要

上述したように JUA と CEA との間で「次世代型原子炉の物理」に関する日仏研究協力協定が 1993 年 4 月に締結され、日仏共同研究が開始された。この共同研究では、京都大学原子炉実験所(KURRI)、CEA のカグラッシュ研究所あるいはサックレー研究所などで、毎年、日仏交互に日仏セミナーを開催し、必要に応じて日仏技術会合を適宜追加して、双

方の研究成果を持ち寄って討議を行うとともに、双方が独自に進めている最新の炉物理研究についての遂行状況や成果に関する情報交換を行い、双方の協議を通じて適宜共同研究課題を見直しつつ、研究を進める方式を採っている。そして、平成 9～11 年度には、科学研究費補助金の基盤研究(A)(2)で「次世代の炉物理に関する共同研究 次世代型軽水炉の炉物理」を研究課題として研究を行い、これを引き継ぐ形で平成 12～15 年度に本研究を行った。本研究では、干渉効果を考慮した共鳴自己遮蔽計算法の開発、ドップラー反応度効果計算時における径方向の反応率分布と温度分布の影響を考慮した計算法の開発、感度解析計算時における誤差伝播評価法の開発、核燃料の照射後試験データを利用したマイナーアクチニドリサイクルと超ウラン(TRU)元素の燃焼計算の妥当性評価、

加速器駆動未臨界炉などの次世代型原子炉開発に関連した炉物理実験手法の高度化等を共同研究テーマの中心として研究を行った。なお、この日仏研究協力協定は当初 3 年を期限として開始されたが、1996 年に改定されて 3 年間延長されたのに引き続き、1999 年に 2 度目の改定が行われて 2004 年まで 5 年間延長されることになった。現在、さらに協定を延長することについて日仏双方で合意に達している状況にある。

大学連合の形で共同研究を行っている日本側としては、<sup>1)</sup>、<sup>2)</sup>、<sup>3)</sup>については大阪大学のグループ、<sup>4)</sup>については東北大学のグループ、<sup>5)</sup>については京都大学原子炉実験所及び名古屋大学のグループが中心となり、国内で相互に連絡を取り合いながら、フランス側とも適宜電子メールなどを利用して連絡を取り合いながら研究を進めた。なお、文部科学省の革新的原子力システム技術開発公募事業の枠組みに基づき、平成 14 年度から京都大学原子炉実験所において 5 ヶ年計画の加速器駆動未臨界炉の技術開発に関するプロジェクトが開始されることになったため、これに関連する研究の比重が高まることになった。また、これまでに京都大学臨界集合体実験装置(KUCA)において蓄積された炉物理実験データの解析・評価を進め、次世代型軽水炉開発の基礎となる核データ評価に役立てるためのベンチマークデータとして活用することを目指して研究を進めた。なお、本研究については、年度の途中で平成 15～18 年度科学研究費補助金基盤研究(A)(1)として「大学連合とフランス原子力庁による次世代型軽水炉の物理に関する共同研究」が新たな研究課題として採択されたため、これに引き継がれることとなった。従って、平成 15 年度に予定していた日仏セミナーは新たな課題の下で開催されることとなった。

### 3. 研究の内容及び成果

研究の内容及び成果については、日仏セミナーを開催して共同研究を推進してきたので、次頁以降に第 9 回から第 11 回までの日仏セミナーのプログラム及び議事録を掲載して報告に代えることとしたい。

なお、本研究のベースである 1999 年に改定された日仏研究協力協定については、平成 12 年 3 月に纏められた「次世代の炉物理に関する研究 次世代型軽水炉の炉物理」、平成 9 年度～平成 11 年度科学研究費補助金(基盤研究(A)(2))研究報告書」(課題番号：09044163、研究代表者：神田啓治)をご参照いただきたい。

## **9-th CEA/JUA Seminar**

January 22 - 23, 2001

Research Reactor Institute, Kyoto University

### **Agenda**

#### **January 22**

9:30    Opening Address from JUA  
          Thank-you Address from CEA

#### **10:00    Topic 2**

- 2-1. Olivier Litaize, Alain Santamarina and C. Chabert  
      "Synthesis of the JUA/CEA Results on the LWR Doppler Reactivity Coefficient Benchmark"
- 2-2. Masashi Hattori and Toshikazu Takeda  
      "Improved Method of Doppler Coefficient Calculation by Multiband Method"
- 2-3. Masashi Hattori and Toshikazu Takeda  
      "MVP results on Doppler Benchmark -UOx and MOX fuels"

11:30    Lunch

#### **13:00    Topic 4**

- 4-1. Olivier Litaize  
      "New P.I.E. Benchmark; Selection of Benchmark Cases"
- 4-2. Gilles Youinou  
      "French Results (APOLLO2) of the Minor Actinide Burnup Benchmark"
- 4-3. Tomohiko Iwasaki  
      "Comparison of the CEA and JUA Calculation Results on the P.I.E. Benchmark"
- 4-4. Tomohiko Iwasaki  
      "New Post Irradiation Tests at JAERI after 1995"

15:00    Coffee Break

15:15 **Topic 6**

6-1. Stephane Cathalau

“Absolute Calibration of Fission Chambers”

6-2. Hironobu Unesaki

“Measurement and Analysis of  $^{241}\text{Am}/^{235}\text{U}$  Fission Rate Ratio Using the KUCA”

6-3. Stephane Cathalau

“Power Normalization Using Individual Peak Check Technique”

16:45 Discussion on Future Cooperation

17:30 Closing Address

18:00 Social Meeting

**January 23**

9:30 Writing Minutes

MINUTES of the  
9th Seminar on NEXT GENERATION REACTOR PHYSICS  
within the FRAMEWORK of the COOPERATION between  
JAPANESE UNIVERSITY ASSOCIATION and the

*Participants:*

*French Delegation*

Stephane Cathalau	CEA/DEN/DER/SPEX
Gilles Youinou	CEA/DEN/DER/SPRC
Olivier Litaize	CEA/DEN/DER/SPRC

*Japanese Delegation*

Makoto Inoue	Research Reactor Institute, Kyoto University
Toshikazu Takeda	Osaka University
Seiji Shiroya	Research Reactor Institute, Kyoto University
Otohiko Aizawa	Musashi Institute of Technology
Tomohiko Iwasaki	Tohoku University
Takanori Kitada	Osaka University
Yasunori Kitamura	Nagoya University
Akio Yamamoto	Research Reactor Institute, Kyoto University / Nuclear Fuel Industries, Ltd.
Keiji Kobayashi	Research Reactor Institute, Kyoto University
Hironobu Unesaki	Research Reactor Institute, Kyoto University
Cheol Ho Pyeon	Research Reactor Institute, Kyoto University
Takanori Sugahara	Tohoku University
Masashi Hattori	Osaka University
Kazuya Yamaji	Osaka University
Masao Komeda	Kyoto University
Koji Miyoshi	Kyoto University
Takuji Ikeda	Kyoto University

*Agenda:*

Monday, 22nd January

Opening Address

TOPIC 2 : Rim & Radial Temperature Effects- Doppler Coefficient

TOPIC 4 : Minor Actinide Recycling and TRU Physics

TOPIC 6 : Cooperation On Experimental Techniques

Proposal And Discussions For The Future Cooperation

Tuesday, 23rd January

Technical Visit to KUCA

### 1. Opening Addresses

On behalf of the JUA, Prof. SHIROYA expressed his happiness to welcome the French delegation to the 9th Seminar on Next Generation Reactor Physics within the framework of the cooperation between Japanese University Association and the Nuclear Energy Directorate of CEA. He mentioned that the fruitful cooperation of CEA and JUA resulted in the first common paper related to the void coefficient benchmark published in N.S.E. in May, 2000, and also expressed his confidence in the fruitful discussions during the Seminar.

On behalf of Research Reactor Institute, Kyoto University, Prof. INOUE expressed his welcome to the French delegation and his expectation for the fruitful cooperation.

On behalf of CEA, Dr. CATHALAU thanked the Japanese delegation for the organization of the Seminar. He described the various activities of the new organization in CEA, and expressed his expectations for the friendly exchange to be continued further on.

### 2. Technical Presentations

#### 2.1. Topic 2 : Rim & Radial Temperature Effects- Doppler Coefficient

O. LITAIZE presented the CEA results on the synthesis of the JUA/CEA results on the LWR Doppler reactivity coefficient benchmark. Comparison of cases using average temperature and temperature profile, both treating the space dependent self shielding have been performed for APOLLO-2 results by CEA and RESPLA and MVP results by Osaka University. Very similar results have been obtained for PWR cases, whereas for the BWR cases, increases in the disagreement between APOLLO-2 and RESPLA results for average temperature case have been observed. The good



agreement between APOLLO-2 and MVP for the BWR cases was found despite the different libraries used, which may be due to cancellation of the discrepancies. It has been pointed out that MVP results of PWR results would be helpful for further discussions.

M. HATTORI presented the results of the MVP calculations on the LWR Doppler reactivity coefficient benchmark. For PWR-UO<sub>2</sub> cell, the average model overestimated 9% +/- 3%, whereas for the PWR-MOX cell, slight overestimation within the statistical error by the use of the average temperature model was observed. It has been suggested to make the comparison of reaction rates in MOX cells, especially Pu-240, to understand the observed discrepancies.

M. HATTORI presented the study on the improved method of Doppler coefficient calculation by Multiband method. This methodology has been implemented in the RESPLA code developed at Osaka University. Compared to the previous results, which showed that the use of averaged temperature overestimated the Doppler coefficient by 14% in PWR and 20% in BWR cell, the current results based on the modified RESPLA for UO<sub>2</sub> cell of the Doppler benchmark showed that the overestimation has been changed to 8% and 20% in PWR and BWR cells, respectively.

## 2.2. Topic 4 : Minor Actinide Recycling and TRU Physics

G. YOUINOU presented the parametric studies on MA transmutation in PWRs. The effect of initial content and target radius of Np and Am targets on the MA consumption were studied in the 24 guide-tubes in a UOX 3.7% assembly. It has been shown that the depleted amount is sensitive to the initial content but not to the target radius for both NpO<sub>2</sub> and AmO<sub>2</sub> targets. It has also shown that the negative reactivity due to the introduction of the targets are also very sensitive to the initial content of MAs, so that the initial content and the number of target assemblies should be carefully determined from the viewpoint of reactivity.

T. IWASAKI presented the results of the analysis of benchmark problem based on Japanese PIE data. Significant discrepancies were found between the French and Japanese results for Pu-238, Am-243, Cm-242, Cm-244, Sb-125, Cs-134 and Eu-154.

C/E values for Pu-238, Am-243, Cm-244, Cs-134, Ce-144 are underestimated, whereas those for Cm-242, Sb-125 and Eu-154 are overestimated. The rather large C/E of Cm-242 could possibly be attributed to its experimental uncertainty due to its short lifetime. Notable trends were observed for Sb-125, Eu-154 ; good agreement for JUA, overestimation for CEA. It has been pointed out that the disagreement for

Sb-125 is due to ambiguity in fission yield from ORIGEN2, whereas the disagreement for Eu-154 is due to ambiguity in cross section of ORIGEN2. The reasons for the discrepancies of the heavy metal results are to be analyzed, including the comparison of Am-242m cross section between JEF2.2 and JENDL-3.2.

G. YOUINOU presented the French results of the MA burnup benchmark calculated using APOLLO-2. The following differences were found ;

- Np-237, 50% atom fission : Np-237, Pu-240 and Pu-242
- Np-237, 90% atom fission: Pu-242 and Cm-244
- Am-241, 50% atom fission : Pu-240, Pu-242, Am-244, Cm-244
- Am-241, 90% atom fission : Pu-238, Pu-242(significant)
- Cm-244, 50% atom fission : Cm-244, Cm-245
- Cm-244, 90% atom fission : Cm-244 (significant), Cm-246 (significant)

The Am-241 results are consistent to PIE results and maybe attributable to cross section difference of Am-242m. For the Cm-244 case, it has been pointed out that Cm-244 is not self-shielded in CEA93 library but the effect is not yet checked.

Through the discussions, it turned out that the JUA calculations are based on constant flux , whereas the CEA calculations are based on constant power. This disagreement leads to the difference in flux level during burnup steps. It has been concluded that it might be difficult to compare all the data due to the disagreement between the treatment of benchmark specifications.

T. IWASAKI presented the overview of the recent PIE activities in Japan after 1995, which consist of five cases of both PWR (Takahama-3 plant, 3 cases) and BWR (Fukushima-Daini-2 plant, 2 cases). The PIE data are open to public as JAERI-Tech 2000-071 and were proposed to be included in the new benchmark problems for CEA-JUA cooperation.

O. LITAIZE presented the result of CEA on the selection of the new PIE benchmark proposed by Dr. Iwasaki during the last meeting at Dec.2000. For PWR cases, sample group SF95 was rejected; for group SF96, three cases (SF96-2, -4 and -5) and for SF97, three cases (SF97-2, -4 and -6) were selected. For BWR, all cases in SF98 and SF99 were selected. It has been pointed out that the following information are necessary in order to perform the benchmark; definition of void rate, exact geometry to be able to orientate the assemblies, information about other pins as those analyzed, position of assembly in the core, detailed information about control blades if any, and the current approach of analysis made by the Japanese side.

### 2.3. Topic 6 : Cooperation On Experimental Techniques

S. CATHALAU presented the results for the power normalization using individual peak check technique. The objective of this method is to determine the Pu fission rate / U fission rate ratio allowing the normalization between  $\gamma$ -scan maps of UO<sub>2</sub> and MOX, independently measured. Fission rates are evaluated based on  $\gamma$  measurement of <sup>92</sup>Sr or <sup>140</sup>Ba-<sup>140</sup>La. The measured results are combined with calculated normalization factors, which were almost independent to the pin location, to obtain the final results. This experimental technique was successfully applied to MISTRAL-4 UO<sub>2</sub>-REF core.

H. UNESAKI presented the results of the <sup>241</sup>Am/<sup>235</sup>U fission rate ratio measurement and analysis performed at the Kyoto University Critical Assembly (KUCA). The average C/E value for JENDL-3.2 was 0.88. The difference between JEF2.2 and JENDL-3.2 was 7 to 11%. The cause of the difference arises from cross section difference at low energy resonances, especially at 0.576eV and thermal cross sections.

S. CATHALAU presented the results of absolute calibration of fission chambers performed at SPEX. The calibration experiments were performed using GIN26 neutron generator together with the calculated data using MCNP. The new calibration system is expected to serve to improve the absolute measurement uncertainty and nuclear data library.

### **3. Proposal And Discussions For The Future Cooperation**

#### **3.1. Topic 2 : Rim & Radial Temperature Effects- Doppler Coefficient**

It has been agreed to perform reaction rate comparison, especially for the MOX case in order to summarize the results to be published in a common paper. Prof. Takeda will contact A. Santamarina on the preparation of the common paper

#### **3.2. Topic 4 : Minor Actinide Recycling and TRU Physics**

Concerning the first PIE benchmark, the experimental burnup data in the previous benchmark specification was corrected by JAERI and corrected data would be transferred from JUA to CEA by the end of January. CEA will perform the calculation and send the results to JUA by the end of June, which is two months before the deadline of paper submission for the ND2001 conference. Only the nominal cases are to be recalculated. The contact person is T. Iwasaki (Tohoku University) for JUA and G. Youinou for CEA.

Concerning the new PIE benchmarks, Dr. Iwasaki explained that no information about the control elements are provided by JAERI; however, irradiation has been performed under the absence of control elements in the neighbor of the assembly. All other information requested by CEA would be transferred to CEA side by T. Iwasaki by the end of March. The results of PWR cases (SF96, No. 2, 4 and 5) should be presented by the end of June; the BWR cases (SF98, three cases) should be presented by the end of December. The schedule for the rest, i.e. SF97 and SF99 are to be determined during the next Seminar.

CEA side has proposed to initiate a new benchmark on burnup calculation. Proposals will be send to JUA by CEA via e-mail ; the detail of the benchmark will be discussed during the next seminar.

### 3.3. Schedule for the Next Joint Seminar

The next JUA-CEA seminar is scheduled to be held in conjunction with the NUPEC meeting, which will be held on June at Cadarache. A technical meeting is also scheduled to be held in December if necessary.

**Japanese University Association and CEA/DEN Meeting**

**December 11-12, 2001**

**Cadarache - Bldg 230**

**Agenda**

**Tuesday 11 Dec. Morning**

9:30 am     *Welcome address (A. ZAETTA and A. SANTAMARINA)*

**Topic 2 : Doppler Reactivity Coefficient**

9:45 am     *Comparison of Reaction Rate in LWR Doppler Reactivity Coefficient Benchmark  
(Prof TAKEDA)*

10:30 am     *Doppler coefficient results  
(C. CHABERT, A. SANTAMARINA)*

**Topic 4 : PIE Benchmarks and Minor Actinide Recycling**

10:45 am     *Japanese calculation result for PWR benchmark.  
(Prof IWASAKI)*

11:15 am     *APOLLO2/CEA93 Analysis of the SF97(PWR 17x17) PIE Benchmark  
(C. CHABERT)*

11:45 am     *Specification for BWR benchmark.  
(Prof IWASAKI)*

12:15 am     *Analysis of Innovative U233-Np-Th Core as a Np-Burner.  
(Prof AIZAWA)*

*Lunch at the    « restaurant des cadres »*

**Tuesday 11 Dec. Afternoon : Topics on Advances in Codes**

- 2:15 pm    *DESCARTES : the future French neutronics Code.*  
(M. SOLDEVILA, J.J. LAUTARD)
- 3:00 pm    *Advances in APOLLO2/CRONOS package for HTR calculation.*  
(X. RAPSAET, M. SOLDEVILA)
- 3:45 pm    *Evaluation of Eigenvalue Separation by Continuous Energy Monte Carlo Calc.*  
(Dr KITADA)

**Wednesday 12 Dec. Morning**

**Topic 5 : Experiments and Experimental Techniques**

- 9:15 am    *Experimental Validation of the neutronics characteristics of the sub-critical multiplying of an ADS : the MUSE experiment*  
(R. SOULE)
- 9:45 am    *Analysis of the MUSE experiment*  
(J.F.LEBRAT)
- 10:15 am    *Present Status of Next Term Project in KURRI.*  
(Prof SHIROYA)
- 10:30 am    *Preliminary Results of Kuca ADS Experiments and Analysis.*  
(Dr UNESAKI)
- 11:00 am    ***Joint Japanese – French Papers to be presented at the next Conferences***

*Lunch at the    « restaurant des cadres »*

# 大学連合 - CEA 協力研究「次世代炉の炉物理」

## 第10回日仏セミナーの概要

(日仏セミナー議事概要の報告)

京都大学原子炉実験所 宇根崎博信

### 1. はじめに

日本の大学連合(JUA)とフランス原子力庁(CEA)の「次世代型原子炉、特に軽水炉の物理の開発研究分野に関する協力協定」(2004年4月までの実施が確定されている)では、現在、以下の6つのトピックスが共同研究課題として規定されている。

- Topic 1: Self-Shielding Methods Including Mutual Resonance Shielding (共鳴自己遮蔽相互干渉を含む自己遮蔽効果評価手法)
- Topic 2: Rim and Radial Temperature Effects on Fuel Depletion and Doppler Reactivity Coefficient (燃焼及びドップラー反応度に対するリム効果及び径方向温度分布の影響)
- Topic 3: Sensitivity Profile Calculations in MOX Lattices and Error Propagation (MOX 燃料格子における感度係数計算及び誤差伝播)
- Topic 4: Minor Actinide Recycling and TRU Physics (マイナーアクチノイドリサイクル及びTRUの物理)
- Topic 5: Leakage Model Validation (中性子漏洩モデルの評価)
- Topic 6: Co-operation on Experimental Techniques (実験技術に関する協力)

この協力研究協定のもと、共同研究の成果の報告、及び情報交換として、「日仏セミナー」がほぼ年1回のペースにて開催されている。今回の日仏セミナーは第10回目にあたるものであり、2001年12月11～12日にフランス・CEA カダラッシュ研究所で開催された。日本側からは相沢乙彦(武蔵工大)、代谷誠治(京大炉)、岩崎智彦(東北大)、北田孝典(阪大)、宇根崎博信(京大炉)(以上敬称略)の5名が出席した。フランス側の出席者は約15名であった。

### 2. 第10回日仏セミナーにおける研究発表

今回の日仏セミナーでは、Topic 2、4、6、及び計算コード・手法の開発に関する研究発表及び情報交換が添付資料のとおり行なわれた。内容の概要は下記のとおり。

#### Topic 2 (燃焼及びドップラー反応度に対するリム効果及び径方向温度分布の影響)

北田孝典氏(阪大)より、軽水炉ドップラー反応度係数ベンチマークに対する日本及びフランスの計算結果の相互比較に関する発表があった。ここでは、前回の会合(2001年1月・京大炉)で明らかになった CEA 側と日本側(大阪大学)の結果の差異を分析するために、新たに1群反応率ベ

ースの結果の比較が行なわれ、 $\text{UO}_2$  セルにおける U-238 捕獲反応率、並びに MOX セルにおける U-238 捕獲反応率、Pu-240 捕獲反応率、Pu-242 捕獲反応率において差異が大きいことが指摘された。特に、U-238 捕獲反応率では、ペレット平均温度使用時と領域毎温度使用時との反応率の差が APOLLO-2 と MVP とで大きく異なっていることが指摘された。今後は、両コードシステムにおける反応率の規格化について再度確認し、今回の比較で見られた差異の原因究明を図ることとなった。なお、日本側の計算 (RESPLA) に用いられた熱領域断面積の一部に不具合があり、現在調査中であるとのことである。

#### Topic 4 (マイナーアクチニドリサイクル及び TRU の物理)

岩崎智彦氏 (東北大) より、PWR (高浜3号) の PIE データに基づくベンチマーク問題 ('SF97' ベンチマーク) の解析結果が報告された。ここでは、SWAT コードシステム (SRAC+ORIGEN-2) を用いたピンセルモデルの解析結果として、U-234、Pu-238、Am-241、242m、Cm-243、244、245、246、247、Sm-147、149、Sb-125 について C/E が1から大きくずれていることが指摘された。特に、Cm 同位体の C/E 値はどのコードを用いても過小評価傾向であり、原因解明が必要であることが指摘された。

この発表に関連し、CEA 側より、より厳密な解析のためには運転時の温度軸方向分布、軽水密度分布、ボロン濃度などの補足データの入手が望ましいことが指摘された。

次いで、Ch. Chabert 氏 (CEA Cadarache) より、APOLLO-2.5 (ライブラリは CEA93 ver. 6) を用いた SF97 ベンチマーク計算結果が報告された。ここでは、集合体モデルを用いた燃焼計算結果が報告され、

- U-235、Pu-239 についてはベンチマーク問題の設定 (燃料温度等)、あるいは実験そのものに問題がある可能性が大であること、
- JEF2.2 中の Pu-241 捕獲断面積の過小評価により、Pu-242 の過小評価 (10 ~ 12%)、Am241 の過大評価 (1 ~ 17%) が見られていること、
- Cm 同位体は全般的に過小評価傾向 (12 ~ 53%) にあり、それぞれの同位体の親核種の捕獲断面積が正しく評価されていないこと、
- FP については、Cs-134、Eu-154、Sm-147、148、149 の C/E 値が1から大きくずれていること、等が報告された。

次いで、岩崎智彦氏 (東北大) より、BWR (福島第2) PIE データに基づくベンチマーク問題 ('SF98' ベンチマーク) の内容が説明された。これに対し、CEA 側より、軸方向ボイド率分布が核種組成に与える影響などについての感度解析を予め行なっておく必要があることが指摘された。

次いで、相沢乙彦氏 (武蔵工大) より、U-233+Th-233 燃料を用いた Np-237 燃焼炉に関する解析結果が報告された。ここでは、燃料中の U-233 及び Np-237 含有量をパラメータとし、ピンセル燃焼計算に基づく Np-237 消滅率、及び、ボイド反応度係数の計算結果が報告された。この報告に対し、U-233 を用いる理由について質問があり、比較的多量 (重量比 10 ~ 15%) の Np-237 を含む燃料の場合には中性子経済上 U-233 を用いる必要があることが説明された。



### 計算コード、手法の開発

M. Soldevila 氏 (CEA Saclay) より、CEA が中心となって開発を進めている DESCARTES システムの開発状況の説明があった。ここでは、EPR の開発、現行炉の置き換え、CEA の新研究炉 RJH の開発、GCR に関する研究開発のスケジュールを鑑み、多用途に利用可能な炉物理ツールの準備を目的として、DESCARTES システム開発が計画されていることが説明されたのち、DESCARTES システムの開発状況として、現在は Phase 0 (ソフトウェア構造の開発及び実証、小規模なツールボックスの作成、PWR 簡略化モデルの核計算による実証) の最終段階であり、2001 年末に以降の開発フェーズへの移行の可否が決定される予定であることが説明された。将来的には、核計算の DESCARTES、熱水力計算の NEPTUNE、燃料・材料のメカニクス計算の PLEIADES の各システムを上位共通アーキテクチャ P@L で統合したシステムを構築する予定とのことである。

次いで、F. Damien 氏 (CEA Saclay) より、SAPHYR コードパッケージ (APOLLO-2, CRONOS-2) の HTR 核計算への適用に関する報告があった。ここでは、従来のコードシステムに HTR 燃料の二重非均質性、非均質中性子漏洩効果を考慮するための機能が組み込まれたこと、原研の HTTR の初期臨界炉心を対象とした解析が行なわれ、臨界性については良好な結果が得られていることが報告された。

次いで、北田孝典氏 (大阪大学) より、連続エネルギーモンテカルロ法に基づく固有値間隔計算に関する報告があった。この手法は、モンテカルロ法を用いて fission matrix を計算し、得られた fission matrix を用いて決定論的手法により固有値間隔を求めるものであり、KUCA の二分割炉心体系における固有値間隔測定実験の解析を通じて良好な結果が得られていることが報告された。

### Topic 6 (実験技術に関する協力)

R. Soule 氏 (CEA Cadarache) より、Cadarache 研究所の MASURCA 装置 (高速中性子系臨界集合体) で行なわれている、加速器駆動未臨界炉の核特性に関する MUSE 実験の報告があった。ここでは、現在実施されている MUSE4 実験について、炉心構成、GENEPI 加速器の仕様、実験計画の概要が説明され、11 月 29 日に実施された最初の実験結果が報告された。また、関連して、C. Jammes (CEA Cadarache) より、MUSE 実験に関連して開発された時系列データ収集システムの概要、及び、動特性パラメータ測定実験への適用例が報告された。

次いで、J.-F. Lebrat 氏 (CEA Cadarache) より、MUSE3 実験の実験解析結果に関する報告があった。MUSE3 実験では、小型のパルス中性子発生装置を炉心の中に組み込んだ実験が行なわれており、パルス中性子発生装置の構造、特に絶縁用のポリエチレンの取り扱いが解析結果に大きな影響を与えること、パルス中性子発生時と非発生時で U-235 核分裂率の絶対値の C/E 値が大きく異なっていることなどが報告された。

次いで、代谷誠治氏 (京大炉) より、京大炉における次期中性子源計画に関する報告として、加

速器駆動未臨界体系に基づく新しい研究用中性子源の概要などが報告された。

次いで、宇根崎博信氏(京大炉)より、KUCA における ADS 関連実験に関する報告が行なわれた。ここでは、現在の実験計画の概要、光ファイバー検出器を中心とした測定系の説明、及び、MVP を用いたパルス実験の解析例が紹介され、即発中性子減衰定数については良好な結果が得られていることが報告された。

#### 今後の協力研究に関するディスカッション

軽水炉ドブラー反応度係数ベンチマークについては、反応率の相互比較の見直しを行い、2002年10月開催の PHYSOR 国際会議にて共著論文を発表すべく、ドラフト作成に向けた作業を進めることが了解された。

PIE ベンチマークについては、現在までに得られている結果に加え、ピンセルモデルと集合体モデルの比較、温度分布、ボイド率分布などのパラメータを対象とした感度解析を行なうと共に、特に BWR ベンチマーク(SF98)について、集合体仕様に関する追加情報の入手を試みることを了解された。また、これらの作業結果を待って、より充実した解析結果が得られた後に共著論文として取りまとめを行なうことが了解された。

また、中性子漏洩関連の研究テーマについて、あらたに CEA 側よりボイド状態におけるセル計算に関するベンチマーク解析の実施の申し入れがあり、CEA 側でベンチマーク問題を作成後、内容を協議して実施の可否を決定することとなった。

次回会合は 2002 年 10 月前後に日本にて開催予定である。

## **11-th CEA/JUA Seminar**

November 25 - 26, 2002

Research Reactor Institute, Kyoto University

### **Agenda**

#### **November 25 (Monday)**

9:45 Opening Address

Welcome Address from JUA

Thank-you Address from CEA

10:00 - 12:00

#### **Topic 2**

2-1. Kazuya YAMAJI and Toshikazu TAKEDA

“Rod Ejection Simulation in Sub-Assembly Based on Micro Reactor Physics”

#### **Topic 4**

4-1. Arnaud COURCELLE

“Analysis of the CEA/JUA PWR P.I.E Benchmark. Improvement using JEFF3.0 Evaluations”

4-2. Takashi CHIBA and Tomohiko IWASAKI

“Sensitivity Calculation of Cross Sections for the PWR Benchmark”

4-3. B. ROQUE and A. SANTAMARINA (Arnaud COURCELLE)

“Comparison of Cell Analysis and Assembly Analysis in BWR P.I.E Benchmark”

12:00 - 13:20 Lunch

13:20 - 15:10

#### **Topic 5**

5-1. Seiji SHIROYA

“Present Status of Next Term Project at KURRI in Relation with the Accelerator Driven Subcritical Reactor”

5-2. Stephane CATHALAU

“Improvement of the Integral Gamma-Spectrometry Technique”

5-3. Yoshihiro YAMANE, Yasunori KITAMURA, and Hideto YAMAUCHI

“Study on Variance-to-Mean Method for Pulse-Mode Operation of Accelerator-Driven Subcritical System at KUCA”

5-4. Patrick BLAISE (Stephane CATHALAU)

“Power Map Measurement through La-140 and Sr-92 Peak Check Technique”

15:10 - 15:30            Coffee Break

15:30 - 17:30

**Topic 5**

5-5. Hironobu Unesaki

“Preliminary Analysis of KUCA Critical Experiments using JENDL-3.3”

**New Topic**

N-1 Olivier LITAIZE

“Monte-Carlo Reference Calculation of APWR Neutronic Parameters. Qualification on MISTRAL Experiments”

17:30 - 17:40 Discussion on Future Cooperation

17:30 - 17:40 Closing Address

18:00 - 19:30 Social Meeting

**November 26 (Tuesday)**

9:00 - 11:00

Discussion on Future Cooperation

Writing Minutes

Minutes of the  
11-th CEA-JUA(Japanese University Association) Seminar  
on Reactor Physics of Next Generation Reactors

Research Reactor Institute, Kyoto University  
Kumatori, Osaka, Japan  
November 25-26, 2002

**Participants**

S. Cathalau (CEA Cadarache)  
O. Litaize (CEA Cadarache)  
A. Courcelle (CEA Cadarache)  
T. Takeda (Osaka Univ.)  
T. Kitada (Osaka Univ.)  
A. Sawada (Osaka Univ.)  
H. Yamauchi (Nagoya Univ.)  
S. Okajima (JAERI)  
O. Aizawa (Musashi Institute of Technology)  
K. Yamaji (Osaka Univ.)  
Y. Hirano (Kyoto Univ.)  
T. Ogata (Kyoto Univ.)  
T. Chiba (Tohoku Univ.)  
K. Nakajima (JAERI)  
A. Sasahira (Central Research Inst. of Electric Power Industry)  
A. Yamamoto (Nuclear Fuel Industries)  
Y. Yamane (Nagoya Univ.)  
T. Iwasaki (Tohoku Univ.)  
M. Mori (Nuclear Engineering, Ltd.)  
S. Shiroya (Kyoto Univ.)  
H. Unesaki (Kyoto Univ.)

## **Agenda**

Opening Addresses

Presentations

### Topic 2

- 2-1. Kazuya YAMAJI and Toshikazu TAKEDA, “Rod Ejection Simulation in Sub-Assembly Based on Micro Reactor Physics”
- 2-2. T. Takeda, “Proposal of Benchmark Problem of Doppler Reactivity Calculation “

### Topic 4

- 4-1. Arnaud COURCELLE, “Analysis of the CEA/JUA PWR P.I.E Benchmark. Improvement using JEFF3.0 Evaluations”
- 4-2. Takashi CHIBA and Tomohiko IWASAKI, “Sensitivity Calculation of Cross Sections for the PWR Benchmark”
- 4-3. B. ROQUE and A. SANTAMARINA, (presented by A. Courcelle), “Comparison of Cell Analysis and Assembly Analysis in BWR P.I.E. Benchmark”

### Topic 5

- 5-1. Seiji SHIROYA, “Present Status of Next Term Project at KURRI in Relation with the Accelerator Driven Subcritical Reactor”
- 5-2. Stephane CATHALAU, “Improvement of the Integral Gamma-Spectrometry Technique”
- 5-3. Yoshihiro YAMANE, Yasunori KITAMURA, and Hideto YAMAUCHI, “Study on Variance-to-Mean Method for Pulse-Mode Operation of Accelerator-Driven Subcritical System at KUCA”
- 5-4. Hironobu UNESAKI, “Preliminary Analysis of KUCA Critical Experiments using JENDL-3.3”

### New Topic

- N-1. Olivier LITAIZE, “Monte-Carlo Reference Calculation of APWR Neutronic Parameters. Qualification on MISTRAL Experiments”

Discussion on Future Cooperation

## **Opening Addresses**

Prof. Takeda (Osaka Univ.) addressed the opening of the Seminar and expressed his gratitude to all the participants.

Prof. Shiroya (Kyoto Univ.) expressed his happiness to welcome the French physicists for the Seminar and his confidence in the fruitfulness of the discussions.

Dr. Cathalau (CEA) expressed his gratitude for the invitation to the Seminar and his confidence in the fruitfulness of the discussions.

## **Topic 2: Rim and Radial Temperature Effects on Fuel Depletion and Doppler Reactivity Coefficient**

### *2-1. Kazuya YAMAJI and Toshikazu TAKEDA, “Rod Ejection Simulation in Sub-Assembly Based on Micro Reactor Physics”*

Mr. Yamaji (Osaka Univ.) presented the results of control rod ejection transient analysis in LWR subassemblies. This work has been performed with special emphasis on Doppler reactivity calculation using temperature distribution obtained in the transient analysis and the verification of effective temperature models. The analysis has been performed using the modified MICA code (developed at Osaka Univ.) with time-dependent sub-group and IQS-CCCP method capabilities. It has been pointed that 1) the Rowlands effective temperature assuming parabolic temperature profile tends to underestimate the Doppler reactivity in transient temperature profiles, 2) volume averaged temperature model has better accuracy under non-parabolic temperature profiles, and 3) azimuthal temperature distribution has no significant impact on Doppler reactivity calculation. The verification of exact Rowlands effective temperature and improvement of MICA code including the generation method of subgroup parameters and treatment of resonance interference effect remains as future works.

### *2-2. Toshikazu TAKEDA, “Proposal of Benchmark Problem of Doppler Reactivity Calculation “*

Prof. Takeda (Osaka Univ.) proposed a new benchmark problem of Doppler reactivity calculation. The purpose of this benchmark problem is 1) to evaluate the effect of cross sections with consideration of space-dependent self-shielding and temperature distribution within a rod, and 2) to validate the average temperature models used in conventional Doppler reactivity calculations.

## **Topic 4: Minor Actinide Recycling and TRU Physics**

### *4-1. Arnaud COURCELLE, “Analysis of the CEA/JUA PWR P.I.E Benchmark. Improvement using JEFF3.0 Evaluations”*

Dr. Courcelle (CEA) presented the results of CEA/JUA PWR PIE benchmark

SF-97-4 using APOLLO-2 and JEFF3.0 nuclear data. The major improvement in the nuclear data is U-235 and Pu-241. It has been shown that the previous results based on JEF2.2 nuclear data showed remarkable underestimation for U-236 (-5%) and Pu-242 (-9%), and also for higher MAs, especially for Cm isotopes (-20% to -30%). The ORNL evaluation for U-235 adopted in JEFF3.0, ENDF/B-VI.5 and JENDL-3.3 tends to give lower C/E values of k-effective in highly enriched U systems, which improves the discrepancies between experiment and calculation. For the SF-97-4 benchmark, the C/E of U-236 is improved to -2% by the use of this new U-235 evaluation. The new Pu-241 evaluation improved the C/E value of Pu-242 by 4% and those of Am-243 and Cm isotopes by up to 10% in the SF-97-4 benchmark.

*4-2. Takashi CHIBA and Tomohiko IWASAKI, "Sensitivity Calculation of Cross Sections for the PWR Benchmark"*

Mr. Chiba presented the results of SF-97 benchmark using SWAT code system and JENDL-3.2 library. In order to investigate the cause of large discrepancy of up to -50% for higher Cm isotopes by JENDL-3.2, sensitivity studies for U, Pu and Am cross sections have been performed; values of cross sections were uniformly varied over the whole energy range. It has been shown that capture cross sections for Pu-241, Pu-242, Am-241 and Am-241 should be corrected by 20% to 30% in order to improve the C/E values of Cm isotopes.

*4-3. B. ROQUE and A. SANTAMARINA, (presented by A. Courcelle), "Comparison of Cell Analysis and Assembly Analysis in BWR P.I.E. Benchmark"*

Dr. Courcelle (CEA) presented the results of SF-98 benchmark devoted to BWR PIE. The results of cell calculation and subassembly calculation performed using APOLLO-2 code were compared. It has been pointed that detailed analysis to be compared with experimental data is currently not possible due to the lack of detailed information of the axial enrichment distribution.

Dr. Iwasaki (Tohoku Univ.) commented that the benchmark data is being provided by JAERI and not directly from the utilities. The detailed information, especially those for BWR assembly are currently not accessible. Therefore, it was recommended to cancel the further analysis of BWR benchmark problems.

**Topic 5: Cooperation on Experimental Techniques**

*5-1. Seiji SHIROYA, "Present Status of Next Term Project at KURRI in Relation with the Accelerator Driven Subcritical Reactor"*



Prof. Shiroya (Kyoto Univ.) presented the ADSR research project at Kyoto University Research Reactor Institute. This project, mainly conducted by Kyoto University and KEK (High Energy Accelerator Research Organization), is a joint project including universities and industries, and is currently supported by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) of Japan. In the project, the FFAG (fixed field alternating gradient) type synchrotron 150MeV proton accelerator is combined with the Kyoto University Critical Assembly (KUCA).

*5-2. Stephane CATHALAU, "Improvement of the Integral Gamma-Spectrometry Technique"*

Dr. Cathalau (CEA) presented the new gamma-spectrometry system installed in the EOLE facility at CEA Cadarache. The new system is used for gamma scanning measurement of EOLE fuel rods, and is designed to be automatically controllable to reduce the radiation dose and other risks of the staff members. The new system was used in BASALA-C experiment for its first industrial utilization.

*5-3. Yoshihiro YAMANE, Yasunori KITAMURA, and Hideto YAMAUCHI, "Study on Variance-to-Mean Method for Pulse-Mode Operation of Accelerator-Driven Subcritical System at KUCA"*

Mr. Yamauchi (Nagoya Univ.) presented the activities related to the development of variance-to-mean method to be used for subcriticality monitoring of the ADS. Theoretical derivations of variance-to-mean formula were performed based on two different definitions of mean value in quasi-static state (variance-mean and constant-mean). The experiment was performed at Kyoto University Critical Assembly by combining the critical assembly with pulsed neutron generator. Through the analysis of experimental data, it has been shown that the variance-mean gives better results for longer pulse period, and constant-mean gives better results for shorter pulse period.

*5-4. Hironobu UNESAKI, "Preliminary Analysis of KUCA Critical Experiments using JENDL-3.3"*

Dr. Unesaki (Kyoto Univ.) presented the results of criticality analysis of Kyoto University Critical Assembly using continuous energy Monte Carlo code MVP and JENDL-3.3 library. The present analysis is focused on polyethylene moderated/reflected thermal systems with various H/U ratios and effective U enrichment (adjusted by varying the ratio of 93% enriched U and natural U plates in a fuel cell). It has been shown that JENDL-3.3 significantly improves the C/E value, especially for cores with small H/U ratio; the large over-prediction observed for JENDL-3.2 was significantly reduced to 0.998

to 1.006 by the use of JENDL-3.3. The criticality for highly enriched U cores (without natural uranium plates) show slight overestimation compared to the cores containing both enriched and natural uranium plates. The investigation of this trend remains as future study.

### **New Topic**

*N-1. Olivier LITAIZE, “Monte-Carlo Reference Calculation of APWR Neutronic Parameters. Qualification on MISTRAL Experiments”*

Dr. Litaize (CEA) presented the results of reference Monte Carlo analysis of MISTRAL UOX and MOX cores. Fission rate distributions, thermal flux distributions, boron and void reactivity worths were analyzed using continuous energy Monte Carlo code TRIPOLI-4. It has been shown that 1) criticality is predicted by +150 pcm for UOX core and +400 to +600 pcm for MOX cores, 2) fission rate is well predicted within core region and show about +4% discrepancy at core periphery, 3) boron reactivity of approximately -16 pcm/ppm is well predicted by correlated sampling method. From the above results, it is concluded that Monte Carlo reference calculations could provide relevant and reliable C/E.

### **Discussion on Future Cooperation**

The following plan on future cooperation has been agreed.

*Topic 2:*

- The paper by CEA will be presented at the next meeting

*Topic 4:*

- *Summarizing the results of SF97 benchmark (preparation of joint paper)*
  - CEA (Dr. A. Courcelle) will send the detailed results of SF97 to Japanese side before the next meeting.
  - Japanese side (Dr. Iwasaki, Tohoku Univ.) will present the results using JENDL-3.3 to CEA at the next meeting.
  - The both sides agreed to start the preparation of a joint paper to be published in scientific journals.
- *SF98 (BWR benchmark)*
  - Further activities related to this benchmark are cancelled.
- *New benchmark problem SF96 : with Gd pins (PWR)*
  - Japanese side will provide additional specification of SF96 benchmark to French side if necessary.

- *Proposal of new benchmark : burnup analysis in thermal reactor*
  - CEA will present some results related to trends research on nuclear data using integral experiments (reactivity measurements, PIE, etc.) at the next meeting.
  - Japanese side (Prof. Takeda, Osaka univ.) may propose a new benchmark related to burnup analysis after the presentation from CEA.

*Topic 5:*

- Japanese side (Dr. Unesaki) will present the results of KUCA criticality analysis for Thorium and NU loaded cores at the next meeting.
- CEA would like to examine the possibility to settle the bases of cooperation in miniature fission chambers utilization in the experimental reactors EOLE (or MINERVE) and in KUCA. CEA and KURRI will examine this possibility in detail.

*New Topics:*

- CEA side (Dr. O. Litaize) will present a specific benchmark problem related to Monte Carlo reference calculation of APWR neutronics parameters at the next meeting.

*Next Meeting:*

- The next meeting (12<sup>th</sup> seminar) will be held in France before October, 2003.

## 4. 本 研 究 に 関 連 す る 発 表 論 文

本研究に関連する研究発表論文として以下のものがある。

- 1) Hironobu Unesaki, Seiji Shiroya, Keiji Kanda, Stephane Cathalau, Frank-Olivier Carre, Otohiko Aizawa and Toshikazu Takeda, “Analysis of Differences in Void Coefficient Predictions for Mixed-Oxide-Fueled Tight-Pitch Light Water Reactor Cells”, Nucl. Sci. Eng., Vol.135, No.1, pp.1-22, 2000.
- 2) Hironobu Unesaki, Tomohiko Iwasaki, D. Fujiwara, Takanori Kitada, M. Kuroda, Akio Kohashi, Takeshi Kato, Yoshitaka Ikeuchi and Seiji Shiroya, “Measurement of  $^{237}\text{Np}$  Fission Rate Ratio Relative to  $^{235}\text{U}$  Fission Rate in Cores with Various Thermal Neutron Spectrum at the Kyoto University Critical Assembly”, J. Nucl. Sci. Technol., Vol.37, No.8, pp.627-635, 2000.
- 3) Tomohiko Iwasaki, T. Horiuchi, D. Fujiwara, Hironobu Unesaki, Seiji Shiroya, Masatoshi Hayashi, Hiroshi Nakamura, Takanori Kitada and N. Shinohara, “Measurement and Analysis of Capture Reaction Rate of  $^{237}\text{Np}$  in Various Thermal Neutron Fields by Critical Assembly and Heavy Water Thermal Neutron Facility of Kyoto University”, Nucl. Sci. Eng., Vol.136, No.3, pp.321-339, 2000.
- 4) S. Shiroya, H. Unesaki and T. Misawa, “Accelerator-Driven Subcritical Reactors in Japanese Universities: Experimental Study Using the Kyoto University Critical Assembly”, Trans. Am. Nucl. Soc., Vol.84, pp.78-79, 2001.
- 5) Hironobu Unesaki, Tomohiko Iwasaki, Takanori Kitada, Yoshitaka Ikeuchi and Seiji Shiroya, “Measurement and Analysis of  $^{241}\text{Am}$  Fission Rate Ratio Relative to  $^{235}\text{U}$  Fission Rate in Thermal Neutron Systems Using Kyoto University Critical Assembly”, J. Nucl. Sci. Technol., Vol.38, No.8, pp.600-606, 2001.
- 6) S. Shiroya, A. Yamamoto, H. Moriyama, H. Unesaki, M. Inoue, T. Misawa and Y. Kawase, “Present Status of Next Term Project in KURRI”, Proc. 13-th Symp. On Accelerator Science and Technology, Oct. 29-31, 2001, Suita, Osaka, Jpn., pp.470-472.
- 7) S. Shiroya, A. Yamamoto, K. Shin, T. Ikeda, S. Nakano and H. Unesaki, “Basic Study on Neutronics of Future Neutron Source Based on Accelerator Driven Subcritical Reactor Concept in Kyoto University Research Reactor Institute (KURRI)”, Prog. Nucl. Energy, Vol.40, No.3-4, pp.489-496, 2002.
- 8) T. Iwasaki, H. Hiraizumi and G. Youinou, “Comparison of Nuclide Evolution Analyses between Japanese and French Codes”, Proc. Int. Symp. NUCEF 2001, JAERI-Conf 2002-004, pp.99-103, March 2002.
- 9) Tomohiko Iwasaki, Hiroaki Hiraizumi and Gilles Youinou, “Analysis of Recent Post Irradiation Tests by Japanese and French Burnup Analysis Code Systems”, J. Nucl. Sci. Technol., Suppl.2, pp.860-863, Aug. 2002.

- 10) Tomohiko Iwasaki, Hironobu Unesaki and Takanori Kitada, “Integral Test for Np237 and Am241 Cross Sections in JENDL, ENDF and JEF Libraries”, J. Nucl. Sci. Technol., Suppl.2, pp.920-923, Aug. 2002.
- 11) Seiji Shiroya, Hironobu Unesaki, Hiroshi Nakamura, Chihiro Ichihara, Keiji Kobayashi, Tsuyoshi Misawa, Takuji Ikeda, Shinichi Nakano, Masao Komeda and Khoji Miyoshi, “Experimental Study on Accelerator Driven Subcritical Reactor by Using the Kyoto University Critical Assembly (KUCA)”, Proc. Int. Conf. on the New Frontiers of Nuclear Technology: Reactor Physics, Safety and High-Performance Computing, PHYSOR 2002, Oct.7-10, 2002, Seoul, Korea, CD-ROM, pp.7C•01 1-6.
- 12) Yoshihiro Yamane, Yasunori Kitamura, Hiroki Kataoka, Kazuki Ishitani and Seiji Shiroya, “Application of Variance-to-Mean Method to Accelerator-Driven Subcritical System”, Proc. Int. Conf. on the New Frontiers of Nuclear Technology: Reactor Physics, Safety and High-Performance Computing, PHYSOR 2002, Oct.7-10, 2002, Seoul, Korea, CD-ROM, pp.7E•02 1-8.
- 13) Toshikazu Takeda, Masashi Hattori, Alain Santamarina and Christine Chabert, “Inter-Comparison of Doppler Reactivity Coefficients for LWR UO<sub>2</sub> and MOX Cells”, Proc. Int. Conf. on the New Frontiers of Nuclear Technology: Reactor Physics, Safety and High-Performance Computing, PHYSOR 2002, Oct.7-10, 2002, Seoul, Korea, CD-ROM, pp.11A•04 1-10.
- 14) Hironobu Unesaki, Keisuke Okumura, Takanori Kitada and Etsuro Saji, “Update Status of Benchmark Activity for Reactor Physics Study of LWR Next Generation Fuels”, Trans. Am. Nucl. Soc. Vol.88, pp.436-438, 2003.
- 15) Akio Yamamoto and Seiji Shiroya, “Study on Neutronics Design of Accelerator Driven Subcritical Reactor as Future Neutron Source, Part 1: Static Characteristics”, Ann. Nucl. Energy, Vol.30, pp.1409-1424, 2003.
- 16) Akio Yamamoto and Seiji Shiroya, “Study on Neutronics Design of Accelerator Driven Subcritical Reactor as Future Neutron Source, Part 2: Kinetic Characteristics”, Ann. Nucl. Energy, Vol.30, pp.1425-1435, 2003.
- 17) 代谷誠治, 「エネルギー増幅研究 - 京大炉における研究」, 原子核研究, Vol.47, No.6, pp.67-77, 2003.

これらの論文を順次、次頁以降に示す。

## 5. 結 言

本研究では、主として Pu の入った MOX 燃料を LWR に使用する際に問題となる炉物理的課題の解決を目指し、日仏研究協力協定に基づいて共同研究を行ってきた。LWR における MOX 燃料の利用は炉物理上、古くて新しい課題を提起している。これは、Pu を原子炉に装荷することによって必然的に中性子スペクトルは変化することになるが、LWR における Pu の有効利用あるいは燃焼の観点から、LWR の中性子スペクトルを現行炉心のそれから積極的に変化させようという考え方が生まれて来たことと密接に関連している。これに伴って炉物理の基本的な問題でありながら今日まで残されてきた課題、例えば共鳴自己遮蔽効果の取り扱い方法の高度化、燃焼計算法の高度化等に対する要求が高まり、MA 核種を含めた TRU 核種の中性子断面積の評価、中性子生成時間や実効遅発中性子割合等の動特性に関連したパラメータの評価等についても精度向上の要求が高まってきた。これらの課題を解決するために次世代型軽水炉の開発に向けて、核計算法を高度化し、炉物理実験手法を高度化することが求められている。本研究の評価については第三者にお任せするが、当事者としては本研究を通じて、上記の要求に応えるべく、着実に前進しつつあるものと自負している。

本研究では、原子力開発政策において類似点が多く、基礎的な分野である炉物理研究を着実に進めているフランスの CEA と KUCA 共同利用研究に参加している日本の大学の連合体である JUA が日仏研究協力協定に基づいて共同研究を行ってきたが、JUA 側からすると本国際共同研究について、相手が CEA という特殊事情によるものとも考えられるが、共同研究の成果を学術誌に投稿する際には極めて制約が大きいことを実感している。但し、国際会議への発表については、制約が大きいと感じることは殆どなかった。勿論、JUA 側が共同研究課題に関連した研究を独自の観点で遂行し、その成果を独自に学術誌に投稿することは自由であるが、CEA 側の成果を含めた共同論文の形にする場合には、投稿までにかかりの時日を要することを覚悟しなければならない。ともあれ、たった 1 篇ではあるが、日仏共同論文を Nucl. Sci. Eng.誌に掲載するまでにこぎつけたことを素直に喜ぶたい。なお、今後、積極的に共同研究の成果を学術誌に投稿する方向について、日仏の共同研究者レベルでは合意に達しており、投稿準備を進めていることを申し添えておく。

また、本報告書では紙面の関係上、総ての方を研究協力者として列記することは差し控えたが、JUA に加盟しておられる大学研究者の方々には、KUCA 実験及びその解析や日仏セミナー及び京都大学原子炉実験所専門研究会の席上での討論に参加していただき、ときには貴重な実験データを提供していただいたり、貴重なご意見を賜ったりした。ここに記して深甚の謝意を表する次第である。

最後に、本成果報告書が少しでも次世代軽水炉の開発に役立ち、炉物理研究の進展に寄与することができたとすれば、本研究班一同にとって無上の喜びである。